

## **Mähdrescher**

Stefan Böttinger,

Institut für Agrartechnik, Fg. Grundlagen der Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart

### **Kurzfassung**

Im Berichtszeitraum gab es mehrere Tagungen und Messen mit Schwerpunkten zur Getreideernte. Zugenommen haben die Publikation zur Simulation mit der Diskreten Element Methode (DEM). Neben der Vereinfachung der Bedienung und der Automatisierung der Maschineneinstellung ist die Energieeffizienz auch bei Mähdreschern stärker in den Fokus gerückt.

### **Schlüsselwörter**

Mähdrescher, Marktentwicklung, Stoffeigenschaften, Simulation, Automatisierung

## **Combine Harvester**

Stefan Böttinger,

Institute of Agricultural Engineering, Fundamentals of Agricultural Engineering, University of Hohenheim, Stuttgart

### **Abstract**

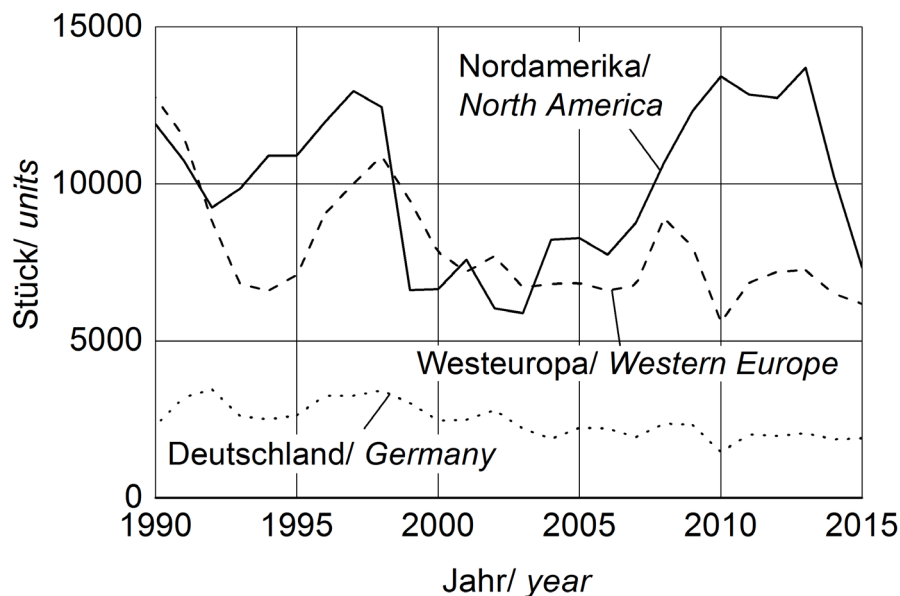
During the reporting period several conferences and fairs with emphasis on grain harvest have took place. Publications about the simulation according the Discrete Element Method (DEM) have increased by number. Beside the simplification of the use of the machines the automation of the machine settings and also the energy efficiency has become more important.

### **Keywords**

combine harvester, market development, physical properties, simulation, automation

## Allgemeines und Marktentwicklung

Die Mähdreschermärkte haben sich im Saisonjahr 2014/15 recht unterschiedlich entwickelt, **Bild 1**. In Nordamerika ist der Absatz von 13 717 Einheiten im Jahr 2013 auf nur noch 7 329 im Jahr 2015 gefallen. Insbesondere in den USA war der Rückgang um 50 % innerhalb von zwei Jahren sehr stark. Ein ähnlich starker Einbruch des Marktes war dort 1998/99 zu verzeichnen. In Westeuropa fiel der Rückgang etwas moderater aus. Nach -10 % in 2014 reduzierte sich der Absatz nochmals um ca. 5 % auf nun 7 329 Einheiten. In Deutschland stabilisierte sich der Markt nach einem vergleichbaren Rückgang in 2014 wie in Westeuropa mit einer leichten Erholung um 1,4 % auf 1 891 Einheiten. In Russland sank der Absatz weiter auf nun ca. 4 700 Maschinen in 2015 [1; 2].



**Bild 1:** Entwicklung wichtiger Mähdreschermärkte [1; 2]

**Figure 1:** Development of important combine markets [1; 2]

Im Berichtszeitraum haben mit der VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng und dem ASABE Annual International Meeting wichtige nationale und internationale Tagungen stattgefunden, auf denen auch Beiträge zur Technik der Getreideernte präsentiert wurden. Auf der Messe Agritechnica 2015 in Hannover und der SIMA 2015 in Paris wurden von den Herstellern für den Bereich der Getreideernte eine Vielzahl von Verbesserungen im Detail sowie zahlreiche Neuheiten präsentiert. Zum Teil wurden diese mit Gold- und Silbermedaillen ausgezeichnet [3; 4]. Neben der Leistungserhöhung und -stabilisierung der Dresch-, Trenn- und Abscheidungsprozesse steht weiterhin eine vereinfachte oder automatisierte Maschineneinstellung auf die Erntebedingungen im Vordergrund. Weiterentwickelte Schulungen und Trainings sollen es den Bedienern der Mähdrescher noch besser ermöglichen, die installierte Druschleistung auszunutzen.

Immer wieder wird über neue Maschinenkonzepte diskutiert. Beachtung findet z.B. das Konzept Tribine (www.tribine.com), das ab 2016 in Newton, Kansas, USA in Produktion gehen

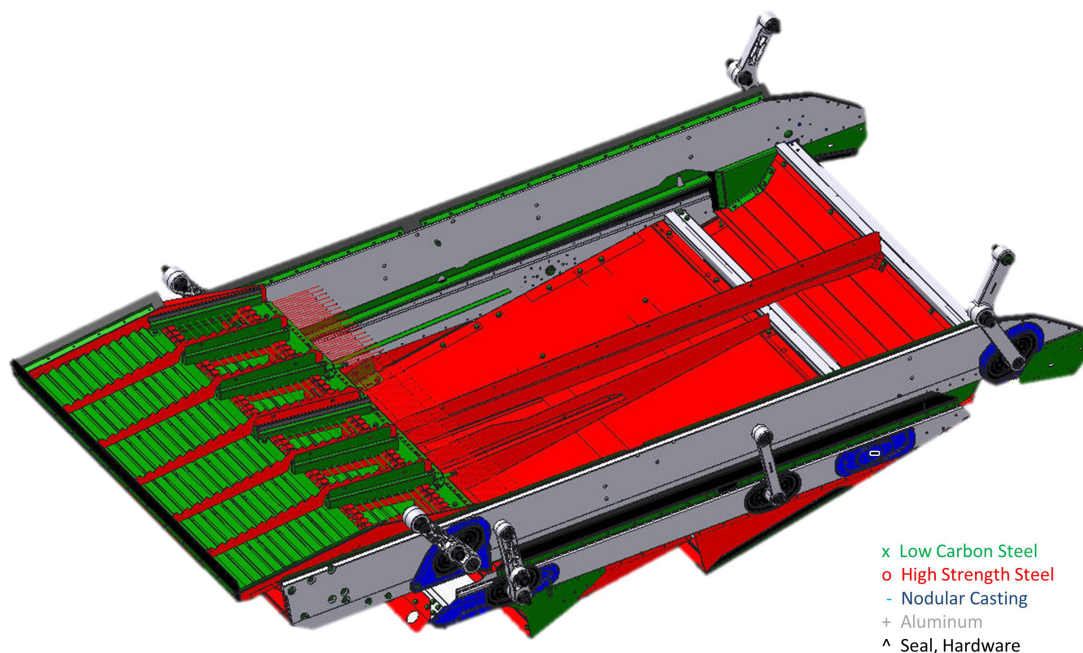
soll. Der Knicklenker mit Allradantrieb hat einen Korntank von 35 m<sup>3</sup>, der auf dem hinteren Fahrzeugteil angeordnet ist. Die Entleerzeit soll nur 2 Minuten betragen.

### Dreschen, Trennen, Reinigen

Neben den Weiterentwicklungen der großen Mähdrescherhersteller gibt es vereinzelt auch Anpassungen konventioneller Erntetechnik an besondere Anbau- und Erntebedingungen wie z.B. bei Mischkulturen, wie sie in Asien stärker verbreitet sind [5].

Zur Stabilisierung der Trenn- und Reinigungsleistung am Seitenhang hat Claas das 4D-System für ihre große Lexion-Baureihe vorgestellt. Durch gesteuerte Klappen an den Trennrotoren kann je nach Hangneigung das abgeschiedene Gut verstärkt auf die hangaufwärtsgerichtete Seite des Vorbereitungsbodens der Reinigungsanlage geleitet werden. Dadurch kann die seit langem bekannte 3D-Reinigung mit ihren zusätzlichen Querschwingungen die Verluste am Seitenhang gering halten [6]. Debele et al. [7] untersuchte grundsätzlich das Arbeitsverhalten einer Reinigungsanlage mit Querschwingungen am Seitenhang. Dabei variierte er in der Simulation deren Stärke und den Versatz zur Längsschwingung und überprüfte dies im Labor.

John Deere stellte eine neue entwickelte Reinigungsanlage vor. Das Besondere der Anlage ist die konsequente Anwendung von Leichtbau durch einen Materialmix von unterschiedlichen Stahlblechqualitäten, Gußteilen und Aluminiumprofilen, **Bild 2**. Dadurch sei eine Gewichtsreduktion von 30 % erreicht worden. Als Verbindungstechnik werden Nieten eingesetzt. Dies soll vor allem Vorteile im Platzbedarf bei der Produktion ergeben. Die Reinigung wird zuerst in den T- und W-Modellen und in weiterentwickelter Form im nordamerikanischen Markt für die S-Modelle eingesetzt [8].



**Bild 2:** Neue John Deere Leichtbau Reinigungsanlage für die W- und T-Serie [8]

**Figure 2:** New John Deere light weight cleaning shoe for W- and T-series [8]

Für die Untersuchungen an Mähdreschern oder einzelnen Baugruppen wird vermehrt die statistische Versuchsplanung eingesetzt. Sie eignet sich nicht nur für eine Minimierung der nötigen Versuche, sondern kann auch für die Identifikation der relevanten Einflussgrößen auf die jeweiligen Prozesse genutzt werden [9]. Der Blick in die Dresch-, Trenn- und Reinigungsprozesse selbst ist seit langen ein Wunsch der Forscher und Entwickler. Der Einsatz von High-Speed Röntgenaufnahmen stellt eine Lösung dar, um beispielsweise die Durchdringung von Körnern durch eine Schicht aus Nichtkornbestandteilen (NKB) räumlich zu erfassen und darzustellen [10].

### **Schneidwerke und Strohmanagement**

Für Maispflücker werden Optimierungen für Pflückwalzen vorgenommen. Auf Basis von Simulationen werden bestimmte Drehzahlen und Drehzahldifferenzen für die Pflückwalzen vorgeschlagen, um Körnerverluste und Körnerbruch zu reduzieren. Erste Laborversuche bestätigen die Simulationsergebnisse [11]. Untersuchungen in einem großen Maisanbaubereich in China mit verschiedenen Pflückwalzen bei unterschiedlichen Erntebedingungen ergaben ähnliche Verluste an Kolben und Körnern. Sehr starke Unterschiede ergaben sich aber für den Körnerbruch durch die Pflücker [12].

Getreidestroh und -spreu ist in vielen Regionen ein wertvoller Rohstoff, der auch für die Tierernährung eingesetzt werden kann. Die Ernte und eine Aufbereitung des Strohs ist mit speziellen „straw combine harvester“ möglich. Deren Einstellung muss auch auf die jeweilige Strohqualität angepasst werden [13]. Unkrautsamen sind häufig im Reinigungsübergang enthalten. Auf der SIMA 2015 wurde der Perard Chaff Harvester vorgestellt, der mit eigenem Fahrwerk neben dem Mähdrescher angebracht werden kann und den Reinigungsübergang sammelt und verpackt. Damit wird eine weitere Verbreitung der Unkrautsamen verhindert [4; 14].

Der Hochschnitt bei Mähdreschern wird nicht nur zur Steigerung der Durchsatzleistung sondern auch zur Kraftstoffeinsparung diskutiert. Jokiniemi et al. [15] ermittelten bei ihren Versuchen eine Energieeinsparung von 22 bis 25 %. Allerdings wird für das Mulchen der langen Stoppel in einem separaten Arbeitsgang ca. 10 Prozent-Punkte mehr verbraucht als vorher eingespart wurde. Bei Langstrohablage konnte 17 % Energie eingespart werden. Die höhere Durchsatzleistung von 24 bis 27 % wurde in dieser Untersuchung nicht bewertet. Lundin [16] konnte bei seinen Versuchen durch eine angepasste Einstellung des Strohhäckslers an die tatsächlich nötige Häckselintensität und Aufspaltung den Leistungsbedarf um bis zu 36 % reduzieren.

Die Anforderungen an die Häcksel- und Verteilqualität sind insbesondere in Hohertragsregionen sehr hoch. Bei Schneidwerksbreiten von über 10 m ist eine gleichmäßige Verteilung nicht einfach zu erreichen. Claas hat einen Modulbaukasten entwickelt und bietet verschiedene Häckslers und Verteilaggregate mit unterschiedlichen Einstellmöglichkeiten an. Der Leistungsbedarf wurde durch den Wechsel von einem hydraulischen zu einem mechanischen Antrieb verringert. Zusätzlich wird mit der automatischen Seitenwindkompensation nun ein erster Schritt zu der Automatisierung des Strohmanagements angeboten [17; 18].

Zürn entwickelte in Kooperation u.a. mit der TU Dresden, HTW Dresden und Gebr. Schumacher ein Mähdrescherschneidwerk mit elektrifizierten Funktionsantrieben, das auf der Agritechnica 2015 mit einer Silbermedaille ausgezeichnet wurde [3]. Die einfache Steuer- und Regelmöglichkeit der elektrifizierten Antriebe ermöglichen neue, noch im Detail zu untersuchende Optimierungen für den Gutfluss [19; 20].

Es wird weiterhin an Alternativen für das konventionelle Getreideschneidwerk gearbeitet. Der Strippervorsatz eines chinesischen Mähdreschers für Reis- und Weizen ist mit einer pneumatischen Förderung ausgestattet. Sun et al. [21] untersuchte verschiedene Möglichkeiten zur Lärmreduktion bei dem Gebläse.

### **Antriebe und Fahrwerke**

Die Verbrennungsmotoren von Mercedes bei den Claas Lexion Modellen 770 und 780 sind nun auch mit Turbo-Compound ausgestattet. Durch die zusätzliche Turbine im Abgasstrom wird über eine Kupplung Leistung auf die Kurbelwelle übertragen. Dadurch sollen die Motoren bis zu 8 % mehr Leistung bei einem um 3 % verbesserten Volllastwirkungsgrad erreichen [22].

Alle großen Mähdrescher-Hersteller bieten nun Bandlaufwerke für ihre Maschinen ab Werk an. Damit die Räder der Lenkachse ebenfalls mit niedrigem Kontaktflächendruck betrieben werden können, bietet Claas für diese nun ab Werk eine Reifenluftdruckregelanlage zur Anpassung des Fülldruckes an die tatsächliche Gewichtsbelastung an [23]. Die Neukirchener Achsenfabrik NAF zeigte eine allradangetriebene Bogie-Achse an einem Mähdrescher.

Zur Optimierung der Mähdrescherantriebe müssen die entsprechenden Last- und Leistungskollektive bekannt sein. In [24; 25] wird ein erweitertes Verfahren vorgestellt um aus wenigen aufgenommenen Kollektiven neue abzuleiten und dann im virtuellen Maschinenversuch verschiedene Antriebslösungen zu testen und zu bewerten.

### **Stoffeigenschaften**

Die Stoffeigenschaften des Erntegutes beeinflussen die Maschinenleistung. Durch die Maschineneinstellungen kann darauf reagiert werden. Ravikanth et al. [26] untersuchte die Möglichkeiten zur Erkennung unterschiedlichster Beimengungen und von gebrochenen Körnern in Weizen mit Hilfe von Nah-Infrarot-Bildern (NIR). Dies ist hier mit einer Sicherheit von bis zu 92 % gelungen. Allerdings durften die Proben nur mit einer Art von Beimengung verunreinigt sein.

Für Mais wurden mechanischen Stoffeigenschaften wie die Zugkraft am Stängel und die Pflückkraft am Kolben ermittelt. Diese Stoffeigenschaften können bei der Entwicklung eines Strippers für Maiskolben hilfreich sein [27]. Für die Anpassung eines Reismähdreschers zur Ernte von Borstenhirse müssen die Stoffeigenschaften ermittelt werden. Jun et al. [28] präsentieren dazu die Ergebnisse und die geänderten Einstellungen an der Maschine um die Durchsatzleistung zu erhöhen.

Die Festigkeit von Körnerfrüchten kann in Anlehnung an die Wöhlerkennlinien für metallische Werkstoffe ermittelt werden. Erstmals wurde dazu eine Methodik entwickelt und exemplarisch für Weizen angewandt. Noch ist die Methode sehr aufwendig und bedarf einer weiteren Entwicklung. Die Ergebnisse können in der Auslegung von Mähdreschern genutzt werden. Zudem bilden sie eine weitere Grundlage für eine Simulation des Druschprozesses [29; 30].

## Simulation

Die Simulation der mechanischen und der verfahrenstechnischen Prozesse im Mähdrescher hat sich zu einem etablierten Werkzeug für die Forschung und Entwicklung entwickelt. Verbesserungen werden mit der Detailtreue bei der Simulation nach der Diskreten Element Methode (DEM) erwartet. Grenzen hierfür sind die Rechenleistungen, damit diese Entwicklung auf in üblichen Entwicklungsprozess integriert werden kann.

Für die DEM-Simulation müssen die Parameter vielfältiger Güter ermittelt werden. Im Projekt ADALS wird eine Datenbank zur Parametrisierung von landwirtschaftlichen Gütern aufgebaut [31]. Körnerfrüchte müssen zuerst in ihrer Form nachgebildet werden. Bei Mais zeigte sich deutlich der Einfluss dieser Form auf die Simulationsergebnisse [32]. Zur weiteren Parametrisierung von Körnern gehört neben dem Bruchverhalten [29; 30] auch die Stoßzahl. Sie kann aus Hochgeschwindigkeitsaufnahmen ermittelt werden [33]. Zhan et al. [34] simulieren den Aufprall von Reiskörnern auf die Fläche eines Verlustsensors. Sie gewinnen aus der Simulation Daten wie die maximale Kraft und den Kraftverlauf, die für die Entwicklung eines Verlustsensors genutzt werden können.

Zur DEM-Simulation von Halmgut muss ebenfalls der mögliche Aufbau der Halme in der Simulation untersucht und dann diese parametrisiert werden. Thielke et al. [35] entwickeln ein Modell für Stroh, parametrisieren und validieren es. Es wird eine erste Anwendung in einem einfachen landtechnischen Förderprozess vorgestellt. Die Prozesse der Halmguternte lassen sich ebenfalls mit einem DEM-Halmgutmodell darstellen [36].

Mit der Abscheidung von Körnern durch eine Stroh- oder Stroh-Spreu-Schicht können die Prozesse auf Hordenschüttlern, auf dem Vorbereitungsboden und auf den Sieben dargestellt werden. Lenaerts et al. [37] untersuchen die Durchdringung von Körnern durch eine vertikal oszillierende Strohschicht. Die Ergebnisse aus der Literatur können gut nachgebildet werden. Es zeigte sich, dass neben den Stoffeigenschaften der größte Einfluss auf die Durchdringungszeit die Strohmassenbelegung und auch der Korndurchmesser sind. Ma et al. [38] untersuchten mit der DEM-Simulation die Durchdringung und Abscheidung von Körnern durch eine Strohschicht mit unterschiedlicher mechanischer Anregung.

Zur Simulation der Prozesse in einer Reinigungsanlage muss auch die Luftströmung berücksichtigt werden. Korn et al. [39] zeigen die Möglichkeiten der Strömungssimulation als Entwicklungswerkzeug für die Mähdrescherentwicklung auf. Pförtner et al. [40] stellen eine Methode vor, wie bei ihnen die strömungstechnischen Eigenschaften von Körnern und von Strohpartikeln für modelliert und verifiziert werden können. Damit ist eine Kopplung der Simulation nach der Diskreten Element Methode mit einem simulierten Strömungsfeld möglich.

## **Elektronik, Bedienung und Automatisierung**

An Alternativen zu den bekannten Gutflusssensoren wird immer wieder gearbeitet. Mit einem Laserscanner kann der Ausfluss von Körnern aus einen Behälter nur mit einer Genauigkeit von ca. 90 % erfasst werden [41]. Deshalb ist von einer Übertragung auf mobile Maschinen abzusehen. Unter dem Sieb der Reinigungsanlage können die abgeschiedenen Körner auch mit einem Lichtgitter erfasst werden [42]. Allerdings sind dazu mehrere Sensoren nötig, um die gesamte Siebfläche abzutasten. Die Verbesserung einer existierenden Ertragsmesseinrichtung fokussiert sich auf die Algorithmen für die Fehlererkennung und -eliminierung, für optimierte Transportverzugszeiten im Mähdrescher und auf den Zeitversatz beim Start und Stop des Dreschens im Feld [43]. John Deere zeigt mit seinem System Active Yield wie mit weiteren Sensoren im Korntank die Füllvorgänge überwacht, Änderungen bei den Guteigenschaften erkannt und der Ertragssensor neu kalibriert werden kann [3].

Anhand von aktuellen Messdaten kann mit entsprechenden Algorithmen während des Druschprozesses eine Systemidentifikation erfolgen. In [44] wird eine Methode vorgestellt, die geeignet ist, Automatisierungsprozesse im Mähdrescher zu unterstützen. Bormann et al. [45] beschreiben das neu von Claas vorgestellte Überwachungssystem Auto Crop Flow. Die Überwachung der Antriebe soll dem Fahrer ermöglichen, den Mähdrescher mehr an dessen Leistungsgrenze zu betreiben. Sich anbahnende Überlastungen werden anhand des Drehzahlabfalles der Antriebe erkannt, der Fahrer wird gewarnt und z.B. der Einzug abgeschaltet. John Deere unterstützt den Fahrer durch die weiterentwickelte und mit einer Silbermedaille bei der Agritechnica 2015 ausgezeichnete Maschineneinstellung Integrated Combine Adjustment 2 (ICA2) [3]. Verbesserte Körnersensoren und Kameras im Körner- und im Überkehrelevator informieren den Fahrer über die aktuelle Arbeitsqualität. Weicht diese von einem voreingestellten Wert ab, werden automatisch die Maschineneinstellungen gemäß den vom Fahrer vorgegebenen Prioritäten von Leistung und Qualität optimiert. Simulatoren unterstützen das Training der Fahrer und bereiten sie auf den Ernteeinsatz vor. Von John Deere wird ein neuer, in eine Mähdrescherkabine integrierter Simulator vorgestellt, der für Schulungen zu den Händlern gebracht werden kann [46].

## **Einsatz und Logistik**

Der Einsatz von Mähdreschern und von der gesamten Erntelogistikkette ist im Fokus mehrerer Entwicklungen. Shearer et al. [47] zeigen ein weiteres Modell um die In-Field Logistik zu optimieren. Busato et al. [48] betrachten dagegen die gesamte Logistikkette bei der Reisernte. Hierbei sind Besonderheiten der Reisernte wie das Abtanken am Feldrand und nur an einer Feldseite beachtet worden. Interessant ist das Ergebnis, dass bei fehlendem Abfuhrgepann und nicht ausreichender Korntankkapazität für eine weitere Feldfahrt, es sich lohnt mit reduzierter Schnittbreite weiter zu arbeiten.

Für die Rückverfolgbarkeit von Getreidechargen wurde schon vor längerem die Beimischung von in nachgebildeten Körnern integrierten RFID-Chips vorgeschlagen. In einer weiteren Arbeit wird die Entmischung der nachgebildeten Körner aus dem Getreide durch Vibrationen, wie sie beim Transport auftreten können, untersucht [49].

### **Energieeffizienz**

Die Energieeffizienz der Motoren, der Antriebe und der gesamten Maschine steht seit längerem im Fokus. Neben den Kraftstoffverbrauchskosten für den Anwender sollen die Emissionen der Klimagase reduziert werden. Für eine gerechte Bewertung der Emissionen muss die gesamte Prozesskette von der Feldbearbeitung bis zur Einlagerung betrachtet und auf den Ertrag bezogen werden [50; 51]. Fillingham et al. [52] erstellten ein Modell zur Beschreibung des Kraftstoffverbrauchs eines Mähdreschers. Er validierte es anhand von Messungen an mehreren Maschinen und über verschiedene Ernten. U.a. kann er damit den Einfluss der Maschineneinstellung auf den Kraftstoffverbrauch aufzeigen. Weitere Untersuchungen zur Energieeffizienz von einzelnen Komponenten und Antrieben sind bereits oben genannt [15; 16; 22 bis 25].

### **Zusammenfassung**

Die Märkte für Mähdrescher zeigten sich im Berichtszeitraum meist rückläufig. Weiterentwicklungen der Hersteller fanden statt mit Schwerpunkt auf die Stabilisierung und die Erhöhung der Druschleistung. Dies wird neben verbesserten Arbeitselementen verstärkt durch die erleichterte Bedienung und teilweise auch durch automatisierte Maschineneinstellungen erreicht. Der Einsatz des einzelnen Mähdreschers als Glied der Drusch- und Abfuhrlogistikette findet vermehrt Beachtung. Dadurch können durch Zeit- und Kraftstoffeinsparungen Kostenvorteile erzielt werden.



## **Literatur**

- [1] N.N.: AEM Ag Tractor and Combine Report. URL <http://aem.org/MarketInfo/Stats/> - Aktualisierungsdatum: 07.03.2016.
- [2] Persönliche Mitteilung VDMA, 01.02.2016.
- [3] N.N.: Neuheitenmagazin agritechnica 2015. URL [https://www.agritechnica.com/fileadmin/downloads/2015/neuheiten/AT\\_Neuheitenmagazin\\_2015\\_dt\\_IT.pdf](https://www.agritechnica.com/fileadmin/downloads/2015/neuheiten/AT_Neuheitenmagazin_2015_dt_IT.pdf) - Aktualisierungsdatum: 01.02.2016.
- [4] N.N.: SIMA 2015 Press Kit. URL [http://en.sima-sipsa.com/content/download/158895/1729367/file/SIMA2015\\_PressKit\\_Nov2014.pdf](http://en.sima-sipsa.com/content/download/158895/1729367/file/SIMA2015_PressKit_Nov2014.pdf) – Aktualisierungsdatum: 01.02.2016.
- [5] Qu, Z.; Yang, L.; Zhang, D. und Cui, T.: Experimental study on corn harvester for intercropping pattern. ASABE Paper Number 152189707.
- [6] Bußmann, C.; Baumgarten, J. und Bußmann, J.: Performance stabilization of the separation and cleaning process in a standard combine harvester working on slopes. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 387-393.
- [7] Debele, Z. A. und Bernhardt, G.: Modeling and experimental testing of grain matt dislocation reduction on combine cleaning shoe while working on sloppy fields through additional lateral oscillations. ASABE Paper Number 141869276.
- [8] Rittershofer, M.; Fuchs, V.; Walter, J. und Healy, J.: Light weight cleaning shoe. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 153-159.
- [9] Patel, S. K. und Varshney, B.P.: Modeling of wheat crop harvesting losses. Agric. Eng. Int.: CIGR Journal 16 (2014) H.2, S. 97-102.
- [10] Beckmann, K.; Böttinger, S.; Schwarz, M. und Bölling, R.: New method to detect grain in grain-MOG-mixtures. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 175-181.
- [11] Wang, G.; Jia, H. und Tang, L.: Design and experiment of differential speed snapping rollers for horizontal roller corn harvester. ASABE Paper Number 152189917.
- [12] Cui, T.; Zhang, D.; Shi, S. und Zhang, Z.: Effect of different ear-picking mechanism of combine on corn harvesting. ASABE Paper Number 141906819.
- [13] Dhimate, A.S.; Mahal, J.S.; Singh, M.; Dixit, A. K.; Manes, G.S. und Khurana, R.: Analysis of straw bruising and sieving system on performance of modified wheat straw combine for better straw quality. Agric. Eng. Int.: CIGR Journal 16 (2014) H.4, S. 89-96.
- [14] Spencer, J.: The Pérard 'chaff harvester' brings a new solution to a growing problem. URL <http://www.farmersweekly.co.za/article.aspx?id=73613&h=The-P%C3%A9rard-VMP-chaff-harvester> – Aktualisierungsdatum: 01.02.2016.
- [15] Jokiniemi, T.; Suomi, P.; Linkolehto, R. und Ahokas, J.: Effect of cereal stubble management on the combine harvester performance and energy requirements. Agric. Eng. Int.: CIGR Journal 17 (2015) H.4, S. 64-72.

- [16] Lundin, G.: Reduced combine harvesting power demand by adaption of the straw chopping intensity. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 169-174.
- [17] Brinkmann, J; Beulke, C.; Knierbein, C. und Ducrée, D.: Efficiency increase in the residue management process. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 411-417.
- [18] Knierbein, C. und Kleffmann, B.: Entwicklung eines mechanischen Antriebssystems für ein aktives Strohverteillaggregat von Mähdreschern. 16. Antriebstechnisches Kolloquium, 03./04.03.2015, Aachen, Tagungsband, S. 399-413.
- [19] Wöbcke, S. und Herlitzius, T.: Mähdrescherschneidwerk mit elektrifizierten Funktionsantrieben. 16. Antriebstechnisches Kolloquium, 03./04.03.2015, Aachen, Tagungsband, S. 415-426.
- [20] Wöbcke, S. und Herlitzius, T.: Mähdrescherschneidwerk mit elektrifizierten Funktionsantrieben - Konzept und erste Feldversuchsergebnisse. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 137-144.
- [21] Sun, Z.; Wang, L. und Pan, Z.: Analyses of vibration characteristics of power fan for the 4ZTL-1800 pneumatic conveying combine stripper harvester. Transactions of the ASABE 57 (2014) H.3, S. 693-699.
- [22] N.N.: Turbo-Compound-Technologien für Lexion 780 / 770. URL [http://www.claas.de/produkte/maehdrescher/lexion780-740-2015/motor-fahrwerk/motor?subject=CVG\\_de\\_DE](http://www.claas.de/produkte/maehdrescher/lexion780-740-2015/motor-fahrwerk/motor?subject=CVG_de_DE) - Aktualisierungsdatum: 01.02.2016.
- [23] Krauß, A.; Wagemann, S. und Höing, C.: Traktions- und Effizienzoptimierung durch Integration einer Reifendruckregelanlage in der Lenkachse eines Mähdreschers. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 271-280.
- [24] Häberle, S; Böttinger, S. und Mutschler, S.: Modellbasierte Effizienzbewertung von Mähdrescherfahrantrieben. Landtechnik 70(4), 2015, S. 158-166, DOI:10.15150/lt.2015.2671.
- [25] Häberle, S.; Böttinger, S. und Mutschler, S.: Virtueller Maschinenversuch: Der Weg zum effizienten Mähdrescher? Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 131-136.
- [26] Ravikanth, L.; Singh, C.B.; Jayas, D. S. und White, N. D. G.: Classification of contaminants from wheat using near-infrared hyperspectral imaging. Biosystems Engineering 135 (2015), S. 73-86.
- [27] Zhang, Z.; Zhang, D.; Cui, T. und Li, K.: Experiment on mechanical properties of corn plant related to corn stripping harvest mechanism. ASABE Paper Number 152188953.
- [28] Jun, H. J.; Kang, T. G.; Choi, I. S.; Choi, Y.; Choi, D. K. und Lee, C. K.: Study on performance improvement of a head feeding type rice combine for foxtail millet harvesting. ASABE Paper Number 1912660.

- [29] Ruoff, T.; Mümken, P.; Baumgarten, J. und Böttinger, S.: Grundlagen zu Betriebsfestigkeitsuntersuchungen von Getreide - Methodik zur Bruchanalyse für die Simulation. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 347-355.
- [30] Mümken, P.: Grundlagenuntersuchungen zum Tangentialdreschwerk. Erstellung eines Bruchmodells für Getreide. Dissertation Universität Stuttgart 2015. Forschungsbericht Agrartechnik des FAFL der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) Nr. 551.
- [31] Pruefer, A. und Meinel, T.: ADALS – A database for agricultural materials and a new approach in parameterization of DEM simulations. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 371-378.
- [32] Markauskas, D.; Ramírez-Gómez, Á.; Kačianauskas, R. und Zdancevicius, E.: Maize grain shape approaches for DEM modelling. Computers and Electronics in Agriculture 118 (2015), S. 247–258.
- [33] Bäurich, M. und Herlitzius, T.: Erfassung des Stoßverhaltens biogener Partikel anhand von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 339-346.
- [34] Zhan, Z.; Li, Y.; Liang, Z. und Gong, Z.: DEM simulation and physical testing of rice seed impact against a grain loss sensor. Biosystems Engineering 116 (2013), S. 410-419.
- [35] Thielke, L.; Kemper, S.; Sümening, F. und Frerichs, L.: Simulation of stalks in agricultural processes – using the Discrete Element Method. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 365-370.
- [36] Kajtar, P. und Loebe, S.: Diskrete Element Simulation von Halmgut. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 59-64.
- [37] Lenaerts, B.; Aertsen, T.; Tijssens, E.; De Ketelaere, B.; Ramon, H.; De Baerdemaeker, J. und Saeys, W.: Simulation of grain-straw separation by Discrete Element Modeling with bendable straw particles. Computers and Electronics in Agriculture 101 (2014), S. 24–33.
- [38] Ma, Z.; Li, Y. und Xu, L.: Discrete-element method simulation of agricultural particles' motion in variable-amplitude screen box. Computers and Electronics in Agriculture 118 (2015), S. 92–99.
- [39] Korn, C. und Herlitzius, T.: Strömungssimulation als Entwicklungswerkzeug in der Mähdruschtechnik - Potenzial, numerische Verfahren und Validierung. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 65-73.

- [40] Pfortner, J.; Böttinger, S.; Schwarz, M. und Bölling, R.: Methode zur Modellierung und Verifizierung strömungstechnischer Eigenschaften von Korn- und Strohpartikeln. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 325-331.
- [41] Navid, H.; Taylor, R. K.; Yazgi, A.; Wang, N.; Shi, Y. und Weckler, P.: Technical Note: Detecting grain flow rate using a laser scanner. Transactions of the ASABE 58 (2015) H.5, S. 1185-1190.
- [42] Lee, K.-H.; Chung, S.-O.; Hur, Y.-K.; Chae, Y.-S.; Lee, J.-S.; Kim, S.-K. und Jung, K.-Y.: Issues to improve yield maps of small sized fields. ASABE Paper Number 141906886.
- [43] Choi, M.-C.; Chung, S.-O.; Hur, Y.-K.; Chae, Y.-S.; Lee, J.-S.; Kim, S.-K. und Jung, K.-Y.: Construction and tests of grain flow and water content sensors for full-feed type mid-sized multipurpose combines. ASABE Paper Number 141906947.
- [44] Ließner, R.; Eggerl, A. und Herlitzius, T.: Möglichkeiten zur Online-Systemidentifikation beim Mähdruschprozess. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 333-338.
- [45] Bormann, B. und Middelberg, R.: Performance enhancement in combine harvesters through Auto Crop Flow Control. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 405-409.
- [46] Gilmore, B.; Hunt, T.; Chitanda, M. und Nguyen, A.: Combine Operator Training Simulator. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 337-342.
- [47] Shearer, S. A.; Wolters, D.J.; Root, P. G.; Klopfenstein, A. A. und Schroeder, B. A.: Modeling of grain harvest logistics for modern in-field equipment complements. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 379-385.
- [48] Busato, P.: A simulation model for a rice-harvesting chain. Biosystems Engineering 129 (2015), S. 149-159.
- [49] Steinmeier, U.; Neudecker, M.; Witt, A.; von Hörsten, D. und Schröter, M.: Segregation of simulated RFID markers during handling and transport of wheat. Transactions of the ASABE 57 (2014) H. 2, S. 555-563.
- [50] Fleck, B.; Nacke, E.; Böttinger, S.; Frerichs, L. und Hanke, S.: Der Weg zur freiwilligen Selbstverpflichtung der europäischen Landtechnikindustrie zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 301-308.
- [51] Hanke, S.; Frerichs, L.; Fleck, B. und Nacke, E.: Methode zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Landmaschinen in einer Verfahrenskette. Tagung Landtechnik AgEng, 19./20.11.2014, Berlin. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2226. Düsseldorf: VDI-Verlag 2014, S. 309-314.

- [52] Fillingham, R.; Blackmore, S.; Clare, D.; White, D. R.; Korte, H. und Kettelhoit, B.: Development of a model to optimise the energy requirement of a grain harvest. Tagung Landtechnik AgEng, 06./07.11.2015, Hannover. In: VDI-MEG, VDI-Berichte Nr. 2251. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 161-167.

---

**Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

**Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Böttinger, Stefan: Mähdrescher. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2015. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2016. S. 1-13

**Zitierfähige URL / Citable URL**

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055124>

**Link zum Beitrag / Link to Article**

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/251.html>